



НОВЫЕ ДАННЫЕ О КОЭВОЛЮЦИОННОМ РАЗВИТИИ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В КВАРТЕРЕ

✉Шейнкман В.С.¹, Седов С.Н.¹, Русаков А.В.²

¹Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Россия

²СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ vlad.sheinkman@mail.ru

Результаты исследований, проведенных авторами данной работы в субарктической зоне Западной Сибири, были получены в целях выявления особенностей коэволюционного развития порожденных холодом явлений. Подобная направленность их изучения обусловлена необходимостью создания цельного образа криосферы для рассматриваемого региона, что требует упорядочивания знания о порожденных холодом явлениях в рамках объединяющих данные явления криогенных геосистем. Однако сегодня на фоне обработки, при идентификации отмеченных явлений, все большего количества информации, порой исследователи стараются оперировать только тем ее объемом, который позволяет интерпретировать события и объекты в рамках привычных им схем и взглядов. В результате акцентированным оказывается процесс формирования криогенной системы частного ранга, а закономерности развития основной геосистемы остаются недостаточно раскрыты, и ее восприятие становится искаженным. Тем не менее, приходится констатировать, нередко следы развития объектов криологии Земли рассматриваются не в коэволюционном аспекте, а берутся изолированно и трактуются как фоновые, тогда как на самом деле они могут иметь частное значение. Особенно это касается объектов, которые ряд авторов считает следами покровных ледников, игнорируя тот факт, что такие ледники с позиций закономерностей криологии Земли в Западной Сибири в принципе формироваться не могли. Все это ведет росту противоречий в формируемых научных концепциях и обособлению научных групп на основе их приверженности только определенным моделям. Примеры того, как избегать подобного, опираясь на выявление особенностей коэволюционного развития порожденных холодом явлений, показаны в настоящей статье.

Ключевые слова: *коэволюционное развитие, объекты криосферы, порожденные холодом явления, север Западной Сибири, криогенные геосистемы*

Введение. В текущем году авторы проводили обработку материалов полевых исследований, реализованных в предыдущие годы. К этому времени были получены новые аналитические данные и уточнены подходы к решению проблем распознавания, определения и верификации наиболее информативных объектов криосферы. После того, как было выявлено, что с позиций криологии Земли на севера Западной Сибири, при господстве в нем в квартере мерзлотных процессов, развитие покровного оледенения нереально [Шейнкман и др., 2020; Sheinkman, 2016], на первое место был выдвинут анализ коэволюционного развития порожденных холодом явлений, который стал надежным инструментом вскрытия закономерностей формирования природной среды региона в плейстоцене. Особенно в плане выявления взаимодействия процессов криогенеза и педогенеза, поскольку в отсутствие ледниковых покровов именно следы коэволюционного развития таких процессов служат информативными индикаторами экосистем, получавших развитие в данном регионе в квартере.

Подобная направленность исследований обусловлена тем, что сегодня необходимость обработки, при идентификации порождённых холодом явлений, все большего количества информации порой приводит к тому, что исследователи оперируют тем ее объемом, который позволяет интерпретировать объекты в рамках привычных им схем. Итогом тогда нередко оказывается акцентированность на криогенной системе частного ранга, а закономерности развития основной геосистемы остаются недостаточно раскрыты, и ее восприятие становится искаженным. Все это ведет к росту противоречий в формируемых научных концепциях и обособлению научных групп на основе их

приверженности только определенным моделям. Особенно это касается моделей покровного оледенения, которые рассматривают его условное помещение на пространство Западной Сибири вне связи с преобладающими на этой территории иными порожденными холодом явлениями. Поэтому в настоящей статье показаны примеры выявления специфики коэволюционного развития порожденных холодом явлений.

Опорная территория и используемые материалы. Под севером Западной Сибири имеется в виду ее часть (рис. 1), расположенная севернее широтного отрезка р. Оби, которая течет примерно вдоль параллели 60° с. ш. – ареал между ним и полярным кругом служил опорным регионом. В его пределах представлен комплекс палеокриогенных образований, которые реально верифицировать на основе принципа актуализма – сопоставляя их с характерными современными криогенными объектами Западной и Восточной Сибири и следами развития этих объектов. Проводить подобные сопоставления репрезентативно, поскольку, с одной стороны, на севере Западной Сибири ясно отслеживается тренд меридиональной направленности, отражающий зональную смену, с севера на юг, полигонально-жильных структур (ПЖС), адекватно характеризующих соответствующую среду. Севернее 68° с. ш. в Западной Сибири фиксируются [Васильчук, 2006; Стрелецкая и др., 2015] существующие сегодня полигонально-жильные льды (ПЖЛ) – ключевой индикатор низкотемпературной криолитозоны (рис. 1-б). А южнее зоны современного распространения ПЖЛ, на пространстве до широтного отрезка р. Оби, хорошо выражены псевдоморфозы по льдам такого типа [Шейнкман и др., 2025; Sheinkman et al., 2024, 2025] – следы былых, уже вытаявших ПЖЛ (рис. 1-а, 1-г). С другой стороны, в субарктической зоне Сибири с запада на восток происходит смена типов криогенных геосистем, фиксируя широтный тренд – криоаридизации [Шейнкман, Мельников, 2014], отражающий усиление климатической континентальности территории на фоне ее прогрессивного охлаждения (см. рис. 1). С этим трендом связана смена Приобской области развития псевдоморфоз по ПЖЛ более широким поясом существующих ПЖЛ к востоку от Енисея (рис. 1-в, 1-д, 1-е). В итоге, сопоставляя наиболее значимые индикаторы былой и современной криолитозоны, на базе отмеченных трендов реально продуктивно проводить соответствующие корреляции.

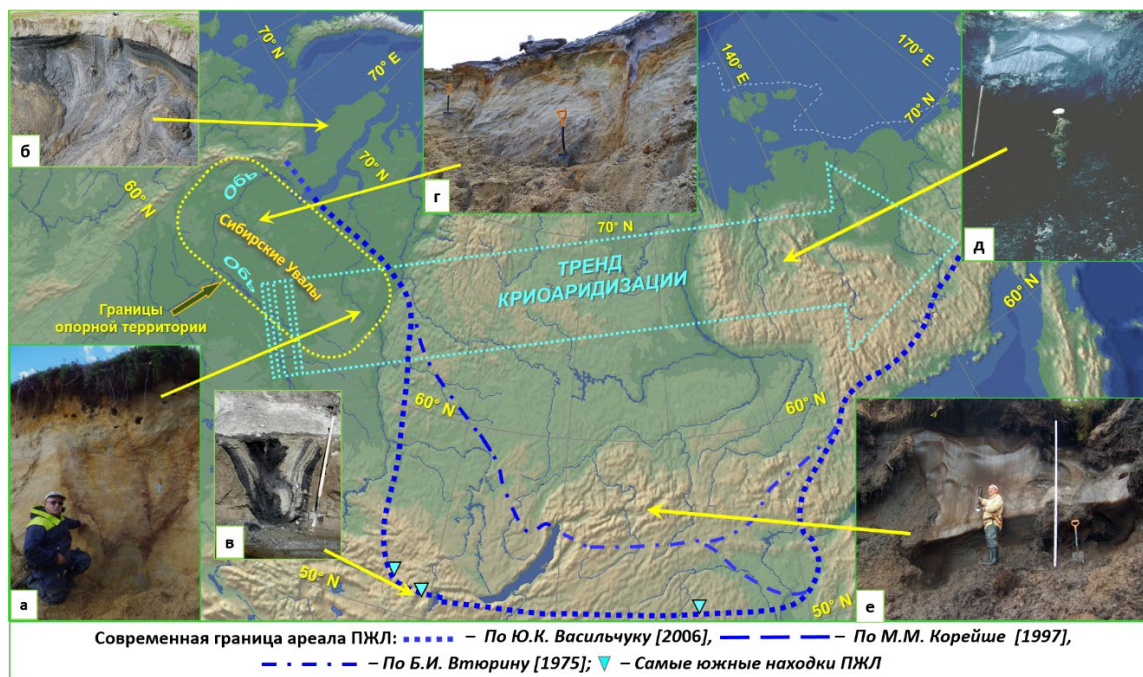


Рис. 1. Опорная территория на фоне субарктического тренда криоаридизации и зональной, с севера на юг, смены полигонально-жильных структур. Фото на врезках: из архива В.С. Шейнкмана – а, в, г, д, е, и Н.А. Застрожной – б.

В целом коэволюционное развитие и взаимодействие криогенных явлений отражает в рассматриваемом ареале развитие криогенной геосистемы регионального уровня организации (по [Шейнкман, Мельников, 2019]). Порой она включает автономные элементы генераций более низкого ранга с их локализацией на пространстве основной геосистемы в местах, для нее, казалось бы, не свойственных, и такие элементы становятся носителями неоднозначной информации. Тогда есть риск, что при интерпретации следов прошлого элементам подчиненных систем неправомерно будет присвоен статус доминант основной системы, и ее суть будет искажена. Применение данного подхода для обоснования размещения бывших элементов криогенных геосистем или, наоборот, показа нереальности их существования, позволило снять ряд противоречий и идентифицировать объекты более надежно, особенно в случае наложения на промерзание горных пород явлений, тоже порожденных холодом, но обуславливающих объекты с иной организацией ледовой составляющей их вещества.

История вопроса и исходные позиции. Накопление знаний о развитии в прошлом холодного мира в регионе шло неровно. С одной стороны, исторически сложилось, что изначально схемы хода явлений, порожденных холодом, на севере Западной Сибири формировались как калька европейских схем, которые были созданы гораздо раньше и стали привычно применяться в Сибири [Земцов, 1976; Архипов, 2000], хотя и не всегда подтверждаясь на ее пространстве. С другой стороны, криогенная геосистема региона многофункциональна, включает различные порожденные холодом объекты, и в ее развитии отслеживается воздействие вариативных модуляций ледовой составляющей, накладываемое на собственно промерзание горных пород. Из-за неполного учета всех факторов такого рода в плане коэволюционного развития различных порожденных холодом явлений при решении палеокриологических задач, собственно, и возникали противоречия. Причем оба отмеченных момента проступали, прежде всего, при подстановке на вход геосистем, моделируемых для прошлого, тех параметров среды, что не были привязаны к реалиям региона на основе принципа актуализма – например, при привычном ранее использовании на входе геосистем Сибири параметров альпийско-скандинавских палеокриологических схем. Значения этих параметров в разы отличаются от соответствующих параметров, присущих пространству Сибири [Шейнкман, Мельников, 2014, 2019; Sheinkman, 2016]. Тем не менее, они стереотипно клялись в основу наложения в прошлом на регион покровного оледенения [Земцов, 1976; Архипов, 2000]. Последнее должно объединять льды атмосферного генезиса: будучи преобразованы на земной поверхности за счет их осадочно-метаморфической трансформации, они существенно отличны от закономерно присущих региону льдов мерзлотного генезиса, причем если для питания последних выпадающей в регионе влаги вполне достаточно, то для формирования ледниковых покровов ее количество должно увеличиться больше, чем на порядок, что в принципе нереально. Больше того, с позиций криологии Земли на севере Западной Сибири ледниковые щиты существовать вообще не могли – он окружен невысокими, гораздо ниже снеговой линии горами, в которых при небольшом количестве атмосферного питания у потенциальных ледников (для сравнения – в Скандинавии – оно больше в 10-15 раз) их ороклиматическая база [Тронов, 1972] не позволила бы зарождать крупные центры оледенения [Шейнкман, Плюснин, 2015; Sheinkman, 2016].

Подчеркнем: формирование знаний о криогенных объектах севера Западной Сибири обусловлено парадоксальным сочетанием коэволюционно формируемых объектов. Это атрибут рассматриваемого пространства: палеокриологические явления в его пределах в одних случаях отражают их типичность, а в других то, что в рамках основной геосистемы могут оказаться элементы сопряженных систем, типичные только для этих систем, но являющиеся экзотами для основной изучаемой геосистемы. Все это требует тщательного анализа объектов при обосновании размещения их на моделируемом пространстве. Особенно при наделении объектов подчиненного значения не характерными для них свойствами явлений-доминант и проведении соответствующих оценок их реальности или

нереальности – тем более с учетом факта, что схемы, разработанные для европейских регионов, далеко не всегда работают в Сибири, где развитие природы шло по-иному. Так или иначе, исторически сложившееся перенесение на пространство севера Западной Сибири, на начальном этапе ее изучения, европейских палеокриологических схем нужно принимать как данность, но опираться на ход изучения коэволюционного развития криогенных геосистем Сибири с уже установленными для них параметрами, базируясь на принцип актуализма.

Методы. Анализ коэволюционного развития порожденных холодом явлений основывается на принципе актуализма и оценке их свойств относительно объединяющих криогенных геосистем. База такого подхода – обеспеченность Сибири широким фоновым набором современных криогенных геосистем с известными параметрами, что позволяет в рамках соответствующих трендов (см. рис. 1) сопоставлять современные геосистемы и друг с другом, и с реконструируемыми геосистемами. Тем более что амплитуда мерзлотно-климатических параметров криогенных геосистем в противоположных точках охватываемого трендом криоаридизации пространства (см. рис. 1) сегодня примерно того же порядка, что и амплитуда изменения параметров, фиксируемые для реконструируемых ситуаций соответственно криохронов и термохронов квартера [Шейнкман, Мельников, 2014, 2019].

Изучение криогенных объектов с позиций коэволюционного развития явлений холодного мира полезно уже потому, что на изучаемой территории встречаются ситуации, когда на фоне господства промерзания горных пород параллельно ему происходит развитие иных порожденных холодом объектов, и последние нередко являются элементами геосистем, сопряженных с изучаемой системой, но существенно отличных по своей организации. Находки реликтов таких объектов становятся источником неоднозначной информации, что требует соответствующей верификации, но без анализа, способного обеспечить познание специфики организации основной криогенной геосистемы и ее подсистем, суть подобного взаимодействия понять бывает непросто, что нередко приводит к противоречивости мнений.

Прежде всего, противоречия связаны с подстановкой на вход реконструируемых геосистем параметров среды, нацеленных на восстановление событий прошлого, но не привязанных к конкретным реалиям региона – оперирование не верифицированными на основе принципа актуализма данными порождает тогда искажение оценок эволюции природной среды. Подобные случаи пока нередки – как при отмеченной выше подстановке параметров европейских палеокриологических схем на вход геосистем Сибири, и крайне важно избегать недочетов такого рода.

Нужно подчеркнуть: север Западной Сибири – территория сложная и в плане вникания в многокомпонентное развитие криогенных явлений, и в плане истории их изучения. Здесь многофункциональное взаимодействие разных криогенных геосистем является атрибутом. Это затрудняет выход на приемлемый уровень достоверности строимых моделей, особенно когда отдельные элементы подсистем могут неправомерно наделяться свойствами элементов-доминант, и они тогда переносятся как доминирующее явление на всю геосистему. Находить нужное решение и позволяет анализ коэволюционного развития и взаимодействия порожденных холодом процессов. Рамки настоящей статьи не позволяют охватить все их стороны, поэтому ниже будут освещены характерные примеры.

Результаты и обсуждение. Рассмотрим некоторые ключевые объекты изучаемой территории в характерных для нее точках. Первый объект – Белая гора. Он был представлен ранее в статье в данном журнале [Шейнкман, Седов, 2023]. В настоящее время по нему получен ряд новых аналитических данных, которые будут приведены ниже.

Белая гора – это естественное береговое обнажение вблизи пос. Корлики (рис. 2), на левом берегу р. Вах, текущей с южного склона восточной части Сибирских Увалов – невысокой, субширотно ориентированной возвышенности. Она сторонниками покровного

оледенения считалась мореной среднеплейстоценового покровного ледника [Земцов, 2000]; аргумент: у нее субширотное простирание, в ней порой вкраплены валуны, и по аналогии с Русской равниной это образование отнесли к морене надвигавшегося с севера ледникового щита. Однако уже первые результаты нашего исследования [Шейнкман, Плюснин, 2015] выявили, что происхождение данного объекта отражает его коэволюционное развитие под влиянием не ледникового фактора, а саморазвития речной сети и процессов промерзания-протаивания аллювиальной толщи, которая на рассматриваемом участке в результате тектонических процессов поднята до отметки 110 м [Шейнкман и др., 2020; Sheinkman et al., 2021]. В том числе это касается присутствия валунов, которые, казалось бы, не типичны для слагающей Сибирские Увалы песчаной толщи аллювия, но типичны для сопряженной криогидрогенной системы (по [Шейнкман, Мельников, 2014, 2019]), в рамках которой реален ледово-речной разнос валунов базальтовых пород с правобережья р. Енисей на рассматриваемое пространство [Шейнкман, Плюснин, 2015; Шейнкман и др., 2020].

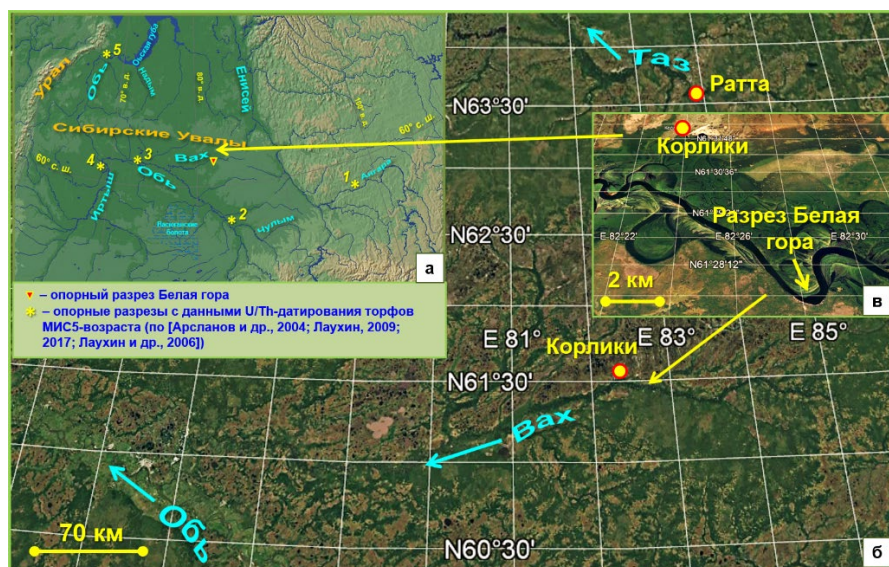


Рис. 2. Картосхема изучаемой территории.

А — картосхема севера Западной Сибири и расположение объектов, датированных U/Th-методом: 1 — объект Бедоба, 2 — объект Колпашево, 3 — объект Кирьяс, 4 — объект Чембакчино, 5 — объект Шурышкар; Б — долина р. Вах на космическом снимке на платформе Google Earth Pro; В — участок р. Вах с объектом Белая гора на крупномасштабном космическом снимке на платформе Google Earth Pro;

В целом объект представлен в основном песчаным аллювием, среднеплейстоценового возраста в нижней части, позднеплейстоценового — в верхней [Sheinkman et al, 2021], а в основании — третичными отложениями [Вдовин, Проводников, 1965]. Но в центре тела террасы прослеживается горизонт педокомплекса темного цвета (рис. 3). Он оказался носителем важнейшей палеогеографической информации, и авторы решили использовать опыт С.А. Лаухин и его коллег, которые ранее успешно применили [Арсланов и др., 2004; Лаухин и др., 2006; Лаухин, 2017] для возрастной диагностики торфов и сапропелей в разрезах Западной и Средней Сибири U/Th-метод датирования и идентифицировали их как образования МИС5 времени, создав для севера Западной Сибири представительную панораму (рис. 3-а) развития горизонтов надежно датированных торфяников и сапропелей. Отложения со слабо разложившимися биогенными остатками, отражают их длительное накопление и в то же время являются емким носителем палеогеографической информации. Было очевидно, что датированные С.А. Лаухиным и его коллегами торфяники являются гидроморфным элементом непрерывного почвенного покрова, атрибутом благоприятной среды теплых подстаций

МИС5, и при отсутствии перекрытия их ледниками на данной территории реально применить достижения палеопедологии. Выявленный нами педокомплекс был датирован таким же способом. По горизонту Agb2 (см. рис. 2-а) получена датировка $103 \pm 9/7$ тыс. лет (LUU 1298TSD), которая позволяет отнести его формирование к стадии МИС5d/МИС 5с, и в данном случае приводятся новые материалы по педокомплексу.

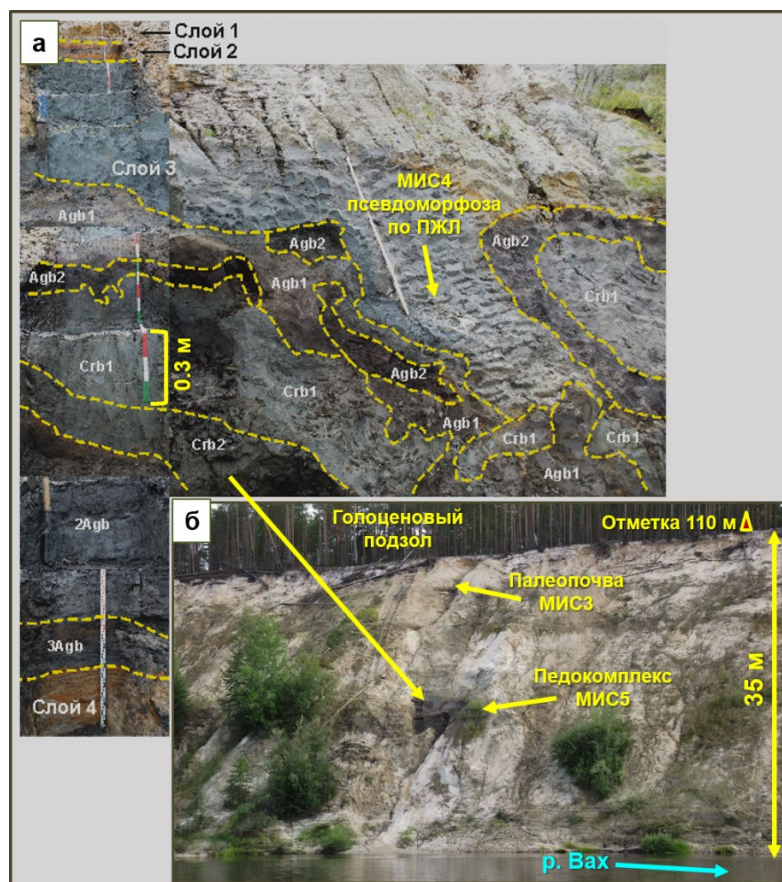


Рис. 3. Объект Белая гора: а — педокомплекс в центре разреза (фото из архива А.В. Русакова), б — общий вид обрыва террасы на левом берегу р. Вах (фото из архива В.С. Шейнкмана).

В целом, входя в состав сложно организованной толщи четвертичных отложений левобережья р. Вах, педокомплекс состоит из четырех слоев, и с пачкой подстилающих и перекрывающих суглинисто-глинистых слоев имеет мощность около 5,0 м, хотя мощность собственно горизонтов педокомплекса не превышает 2,5 м (см. рис. 3а, 3б). Суглинисто-глинистые осадки, по-видимому, накапливались в условиях заболачиваемой старицы.

Важно, что педокомплекс сечется псевдоморфозой по ПЖЛ средних размеров. Ее верхняя, расширенная, часть сопряжена с бывшей исходной поверхностью и ясно маркирует ее (см. рис. 3-а): ширина псевдоморфозы в этой части составляет ~1,0 м, по вертикали она рассекает почвенно-осадочную толщу на глубину 2,2 м и отражает типичные черты бывшего ПЖЛ эпигенетического типа. Тело псевдоморфозы выполнено глинистым материалом, который слагает толщу верхнего слоя, оползавшего в освобождаемое тающим ПЖЛ пространство во время формирования псевдоморфозы (см. рис. 3-а). Она разбивает исходно субгоризонтальные горизонты педокомплекса на отдельные фрагменты, так что перемещенная масса горизонта Agb1 оказалась в ее узкой нижней части. Четко видны и перемещенные фрагменты горизонтов Agb2. По правой стороне псевдоморфозы также отчетливо затягивание этого горизонта вглубь; прослеживаются и перемещенные фрагменты глеевого горизонта Crb1.

Для наших построений было важно определить, как части педокомплекса соотносятся с соответствующими подстадиями МИС5. Детальный палеопедологический

анализ показал следующее. Относимая к самой теплой подстадии МИС5е часть должна быть расположена ниже горизонта Agb2 с датировкой $103 \pm 9/7$ тыс. лет, т.е. существенно моложе верхнего предела МИС5е. На первом этапе исследований [Sheinkman et al., 2021] предполагалось, что самые нижние горизонты педокомплекса 2Agb и 3Agb содержат основной объем почвенной памяти о данном термохроне. Но более детальный ныне проведенный анализ палеопочв представил иные данные. Соответствующие горизонтам 2Agb и 3Agb палеопочвы отличаются меньшей мощностью (см. рис. 3-а) и более слабым развитием макро- и мезоморфологических признаков педогенеза, чем субпрофиль Agb2-Crb1-Crb2. Кроме того, микроморфологические исследования в горизонте Agb2 выявили ход биологических процессов, в то время как в 3Agb сильнее выражены криотурбации. Это привело к выводу, что формирование наиболее развитой палеопочвы Agb2-Crb1-Crb2, которая была определена как лесная [Sheinkman et al., 2021], охватывает и подстадии МИС5d/МИС 5с, и самую теплую МИС5е.

В рамках такой версии нижележащие палеопочвы 2Agb и 3Agb формировались ранее термохрона – в самом конце предыдущего криохрона МИС6, и соответствуют потеплению в его терминальную фазу. Почва 3Agb отражает более холодный этап этой фазы и содержит черты проявления криотурбаций, а почва 2Agb — менее холодный этап, с оглеением и чертами менее сильного промерзания, отражая приближение термохрона МИС5. В пользу этого говорят и результаты палинологического анализа и энтомофауны из образцов горизонтов 2Agb и 3Agb в период предыдущих работ [Зиновьев и др. 2016; Sheinkman et al., 2021]. В этих горизонтах обнаружены таксоны, соответствующие современным условиям арктической или типичной тундры – т.е. гораздо холоднее современных. В то же время энтомофауна горизонта Agb2 индицирует ландшафты типа современных средне- или южно-таежных лесов при климате, близком к современному на этой территории или даже более теплему.

Полученная датировка горизонта Agb2 $103 \pm 9/7$ тыс. лет, а также морфологические наблюдения позволяют провести хроностратиграфическую привязку и для вышележащих уровней разреза. Самый верхний компонент педокомплекса представлен горизонтом Agb1 и соотносится с самой поздней подстадией МИС5а, а перекрывающие его слои 1–3, а также псевдоморфоза по ПЖЛ (свидетельство климата, ход которого был сопровождается развитием низкотемпературной мерзлоты), формировались уже в следующей холодной стадии МИС4.

В сущности, хорошая выраженность рассматриваемого осадочного комплекса, привязанного, в целом, к одному геоморфологическому уровню и сформированного на протяжении длительного времени, от терминальной фазы МИС 6 до начала МИС4, говорит о долговременной стабилизации базовой поверхности, на которой он образован. А соответственно – и о стабильном длительном педогенезе в это время. Выявленное рассечение в МИС4 этой поверхности эпигенетическими ПЖЛ подчеркнуло такой вывод — только их развитие требует нескольких тысяч лет при формировании на открытой поверхности. Иными словами, очевиден факт стабилизации в данном случае дневной поверхности в конце МИС6 и продолжение этого процесса в МИС5 и МИС4. А затем эта поверхность попала в зону накопления МИС3 аллювия с включением процессов криогенеза и криопедогенеза.

Более детально процессы формирования толщи осадков МИС3 удалось проследить на противоположном, северном склоне Сибирских Увалов вблизи пос. Ратта (см. рис. 2-б), практически находящегося на одном меридиане с пос. Корлики. Здесь, в верховьях р. Таз в р. Ратту впадает р. Пюлькы. В ее в правобережных обрывах высотой 6-8 м изучено накопление МИС3 аллювия в условиях криогенеза и последующая трансформация этих осадков в МИС 2 и в голоцене. Один из таких обрывов, который обозначен как объект Пюлькы, представлен на рис. 4, причем ни на водоразделе, ни в долинах рек никаких образований, которые могли бы быть отнесены к следам ледников, отмечено не было. Четко просматривается на объекте Пюлькы строение толщи

аллювиальных осадков МИС3, которые в криохрон МИС2 были рассечены довольно крупными эпигенетическими ПЖЛ, по которым сформированы псевдоморфозы. МИС3 возраст данной толщи подтвержден ^{14}C датами в интервале 30-45 тыс. л. н., а о МИС-2 возрасте рассекавших ее ПЖЛ говорит материал заполнения наследующих эти льды псевдоморфоз: его ^{14}C возраст был в интервале 10-13 тыс. л. н. (см. рис. 4).

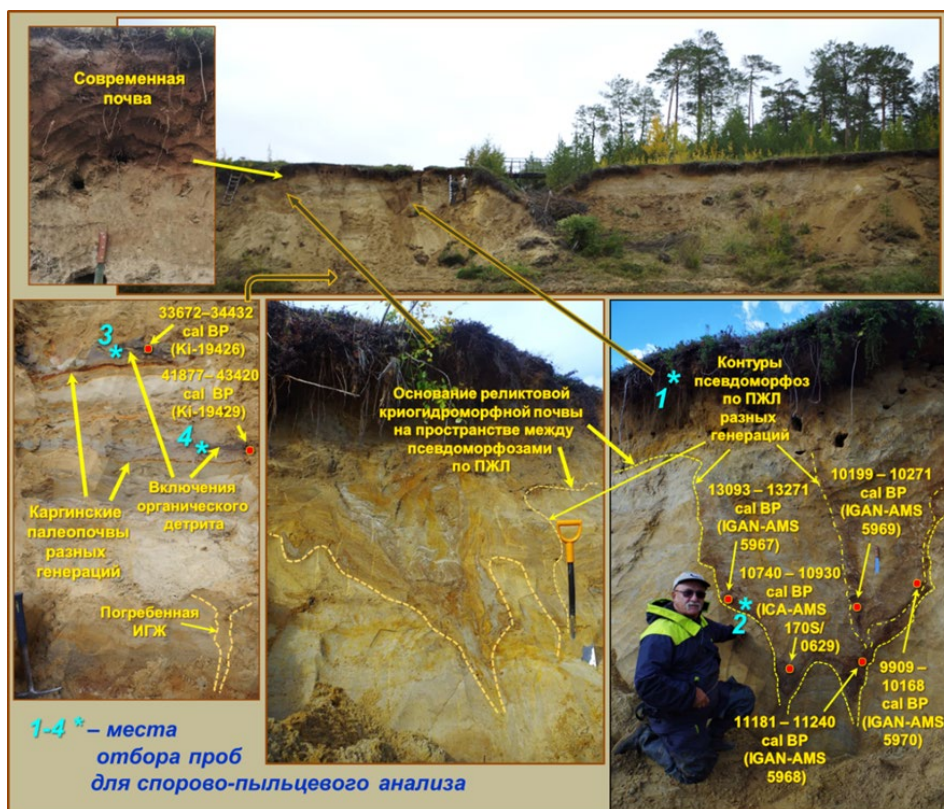


Рис. 4. Объект Пюлькы (фото из архива В.С. Шейнкмана). Условные обозначения: ПЖЛ – полигонально-жильные льды, ИГЖ – изначально-грунтовые жилы

По данному объекту удалось получить уникальные палеоботанические материалы, обработанные Е.В. Безруковой [Sedov et al., 2022]. Первая проба (1, рис. 4) взята из поверхностных, недавно сформированных позднеголоценовых отложений. Состав спорово-пыльцевого спектра (СПС) в ней отражает преобладание лесной растительности, которую формировали елово-кедровые леса с преобладанием ели сибирской (*Picea obovata*), кедра сибирского (*Pinus sibirica*) и с участием сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), березы пушистой (*Betula alba*), изредка пихты (*Abies sibirica*). Кустарниковые группировки состояли из ерников (*Betula nana*), душейки (*Alnus alnobetula*). Травяно-кустарничковый ярус отражен в СПС лишь редкой пылью вересковых (*Ericaceae*), немногочисленной пылью ветроопыляемых трав – полыней (*Artemisia spp.*), а также маревых – *Chenopodiaceae*. Эти данные соответствуют структуре растительности современной среднетаёжной экосистемы данной территории. Вторая проба (2, рис. 4) взята из заполнения псевдоморфозы по ПЖЛ и характеризует редколесный, вероятно, лесотундровый ландшафт с участками ели и березы, ольховника и ивы. Доминировали в этом случае представители переувлажненных заболоченных ландшафтов – хвощево-сфагново-осоковые травяно-кустарниковые тундровые: в СПС данной пробы есть пыльца *Alnus alnobetula*, *Salix spp.*, *Poaceae*, *Cyperaceae*, *Polemonium sp.*, *Polygonaceae* ind. и *Polygonum bistorta*. Кроме того, фиксировалось высокое обилие спор плауна арктического (*Huperzia arctica* (Tolm.) Sipl. (=H. petrovii Sipl.)) и мхов рода *Meesia*, характеризующие развитие тундровой растительности и низинных осоковых болот. Вероятно, могли входить в состав растительности травянистых тундр и остепненных участков также и злаковые – *Poaceae*. О значительном развитии степных ассоциаций свидетельствует разнообразие в

содержании СПС пылицы трав, формирующих в настоящее время степную растительность: *Artemisia spp.*, *Chenopodiaceae*, *Asteraceae*, *Caryophyllaceae*, *Onagraceae*, *Fabaceae*, *Polygonum bistorta*. Таким образом, растительность во время формирования материала данной пробы имела мозаичный облик, характеризующийся сочетанием лесотундрового, тундрового, степного (возможно, склонового) типов растительности.

В 60 см и в 150 см выше уреза реки в отложениях нижней части объекта Пюлькы были обнаружены два прослоя, обогащенные органическим детритом, которые могут быть отнесены к слаборазвитым синседиментационным аллювиальными палеопочвам (см. рис. 4). ¹⁴C-датировки МИС3 возраста были получены по гумусовому веществу этих палеопочв. Они фиксируют, на фоне синкриогенного накопления аллювия, задержки этого процесса со стабилизацией, на некоторое время, поверхности поймы и накопления аллювия от одного паводка/половодья к другому. Это обеспечило накопление в составе палеопочв спор и пылицы, отражающих характер формирующихся в данной обстановке ландшафтов, и из палеопочв также были взяты пробы на спорово-пыльцевой анализ. В общем составе СПС в пробе, взятой внизу разреза, т.е. в 60 см выше уреза реки (4, рис. 4), пыльца наземных трав немного преобладает над обилием пылицы древесных видов. Состав пылицы древесных подразумевает, что участки с локальной лесной растительностью формировали в основном ель и береза. Заметное содержание пылицы *Pinus sylvestris* указывает на ее участие на прогреваемых, относительно сухих участках, в травяном покрове которых существовали растения современных степей – *Artemisia spp.*, *Poacea*, *Chenopodiaceae*, *Caryophyllaceae*. Влажные сфагново-осоковые группировки имели очень ограниченное развитие. Проба, взятая (3, рис. 4) выше по разрезу из другой палеопочвы, в 150 см над урезом реки показала, что в общем составе ее СПС преобладает пыльца наземных трав, менее значимо участие пылицы древесных растений. Как и в предыдущей пробе, метром ниже, состав пылицы древесных подразумевает, что участки локальной лесной растительности формировали ель (*Picea obovata*) и береза (*Betula alba*). В два раза снизившееся в данном случае обилие пылицы *Pinus sylvestris* указывает на сокращение ее участия в региональной растительности или отступление ее границы к югу, индицируя активизацию многолетней мерзлоты. Повышение обилия пылицы кустарников современных тундр (*Betula nana*, *Alnus alnobetula*, *Salix spp.*) означает расширение их ареала вблизи разреза. Также на территории вокруг разреза возросла роль влажных, заболоченных сфагново-осоковых группировок. Высокое обилие пылицы растений степных и/или нарушенных обитаний предполагает наличие прогреваемых летом, относительно сухих участков, в травяном покрове которых существовали растения современных степей – *Artemisia spp.*, *Asteraceae*, *Chenopodiaceae*, *Caryophyllaceae*, *Onagraceae*.

В целом, СПС в отложениях МИС3 и конца МИС2 показывают определенную их близость, отражая характер ландшафтов с наличием многолетнемерзлых пород, существовавших при температуре выше температурных, благоприятных для полигонально-жильного льдообразования значений. Характерно несколько большее охлаждение территории в первой половине МИС3, фиксируемое СПС по пробе 4. Оно косвенно свидетельствует о периоде постепенного перехода от предыдущей холодной МИС4 к более тёплой МИС3.

Так или иначе, СПС и характер ПЖС показывают, что в МИС3 ландшафты еще не приобретали черты, благоприятные для развития ПЖЛ, и температурные показатели тогда еще не достигли значений, чтобы перейти через порог полигонально-жильного льдообразования. В толще аллювия в то время формировались только ясно отслеживаемые (см. рис. 4) яруса ИГЖ, предшественников ПЖЛ в ходе прогрессирующего похолодания климата. Повысилась и превысила порог полигонально-жильного льдообразования температура горных пород и в терминальную фазу плейстоцена, в конце МИС2, когда ПЖЛ, характерные для холодного времени МИС2, стали вытаивать, замещаясь псевдоморфозами по ним.

Заключение. Следы коэволюционного развития и взаимодействия различных криогенных процессов служат в рассматриваемом регионе информативными индикаторами состояния и развития природы, что позволяет надежно выявлять тренды ее развития. В частности, авторами данной работы было установлено, что на севере Западной Сибири на территории вдоль полярного в позднем квартере уже с конца МИС5, в конце соответствующего термохрона, в долинах крупных рек региона шло синкриогенное накопление аллювия в условиях внеледниковой зоны и начавшегося многолетнего промерзания горных пород.

В холодное время МИС4 и МИС2 местность стабилизировалась и подвергалась низкотемпературному криогенезу с развитием эпигенетически ПЖЛ, на развитие которых требовалось несколько тысяч лет. Тем не менее, в конце МИС3 под воздействием клавишной тектоники местность была поднята на первые десятки метров и затем террасирована.

Оттаивание ПЖЛ происходило в терминальные фазы криохронов МИС4 и МИС2, и шло своеобразно. Коэволюционное формирование низкотемпературной мерзлоты с участием ПЖЛ и криогидроморфных почв на основании сезонно-талого слоя (СТС) вело к тому, что большая масса ПЖЛ смогла аккумулировать огромный запас холода. Потом, в терминальную фазу криохронов МИС4 и МИС2 началось резкое потепление, но огромная тепловая энергия была затрачена на таяние ПЖЛ, тем самым предохраняя от таяния мерзлоту вмещающих ПЖЛ пород и сохраняя ее на уровне состояния средне- и высокотемпературной криолитозоны. В итоге формируемые на основании бывшего СТС криогидроморфные почвы оползали в освобождаемое медленно тающим льдом пространство, образуя тело псевдоморфоз по ПЖЛ (раньше о таких палеопочвах ничего не было известно, поскольку они в регионе открыты в процессе исследования авторов данной работы [Sheinkman et al., 2016]). Своеобразный процесс подобного оттаивания пород шел, по нашим данным (полученным на базе проведенного ^{14}C -датирования), почти 10 тыс. лет. Только в середине голоцена в приречной зоне смогла оттаять и высокотемпературная криолитозона, что фиксируется формированием тогда на земной поверхности почв-подзолов, которые требуют матрицу осадков со свободным дренажом и активной аэрацией, т.е. индицируют уже талую основу, хоть и с сезонным промерзанием.

Вместе с тем, коэволюционное развитие рассматриваемой территории отражалось и в том, что на отдалении от приречной зоны, в ареалах с замедленным стоком и избыточным увлажнением, в голоцене происходило заболачивание местности. Там шло накопление торфяников, которые способствовали консервации мерзлых толщ.

Иными словами, коэволюционный процесс был весьма разноплановым, но исключал формирование ледниковых щитов – закономерности развития криогенной геосистемы севера Западной Сибири отвергали их присутствие среди порожденных холодом явлений. Среди последних превалировало взаимодействие процессов криогенеза и криопедогенеза.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке программы по госзаданию FWRZ-2021-0005.

ЛИТЕРАТУРА

Арсланов Х.А., Лаухин С.А., Максимов Ф.Е. и др. Бедоба - опорный разрез казанцевского горизонта в Центральной Сибири // Докл. РАН. 2004. Т. 396. № 6. С. 796–799.

Архипов С.А. Главные геологические события позднего плейстоцена (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. 2000. Т. 41. № 6. С. 792-799.

Васильчук Ю.К. Повторно-жильные льды: гетероцикличность, гетерохронность, гетерогенность. М. Изд-во Московского ун-та. 2006. 392 с.

Вдовин В.В., Проводников Л.Я. История формирования мезозойско-кайнозойских отложений и современного рельефа в бассейне реки Вах. Новосибирск. 1965. 95 с.

Земцов А.А. Геоморфология Западно-Сибирской равнины (северная и центральная часть). Томск: Издательство Томского государственного университета. 1976. 344 с.

Зиновьев Е.В., Бородин А.В., Трофимова С.С. и др. Позднеплейстоценовые энтомокомплексы разреза Белая Гора (Западная Сибирь, р. Вах) и их экологическая характеристика // Евразийский энтомологический журнал. 2016. Т. 15. № 5. С. 483–498.

Лаухин С.А. Палеоклиматические события плейстоцена в Западной и Средней Сибири в течение МИС-5 // Бюл. Моск. О-Ва Испытателей Природы. Отд. Геол. 2017. Т. 92. Вып. 2. С. 49–57.

Лаухин С.А., Арсланов Х.А., Шилова Г.Н. и др. Палеоклиматы и хронология средневюрмского мега-интерстадиала на Западно-Сибирской равнине // Доклады академии наук. 2006. Т. 411. № 4. С. 540–544.

Стрелецкая И.Д., Васильев А.А., Облогов Г.Е., Токарев И.В. Реконструкция палеоклимата российской Арктики в позднем неоплейстоцене–голоцене на основе данных по изотопному составу полигонально-жильных льдов // Криосфера Земли. 2015. Т. XIX. № 2. С. 98–106.

Тронов М.В. Факторы оледенения и развития ледников. Томск. Изд-во Томского университета. 1972. 235 с.

Шейнкман В.С., Мельников В. П. Ледники Сибири как компонент криолитогенно-гляциальных геосистем // Криосфера Земли. 2014. Т. XVIII, № 2. С. 3–23.

Шейнкман В.С., Мельников В.П. Эволюция представлений о холоде и возможные пути их развития в науках о Земле // Криосфера Земли. 2019. Т. XXIII. № 5. С. 3–16. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2019-5(3-16)

Шейнкман В.С., Мельников В.П., Парначев В.П. Анализ криогенных и тектонических процессов на севере Западной Сибири в плейстоцене с позиций криогетеротопии // Доклады РАН. Науки о Земле. 2020. Т. 494. № 1. С. 82–86. doi:10.31857/S2686739720090169

Шейнкман В.С., Плюснин В.М. Оледенение севера Западной Сибири: спорные вопросы и пути их решения // Лед и снег. 2015. № 1(128). С. 103–120. doi: 10.15356/2076-6734-2015-1-103-120

Шейнкман В.С., Седов С.Н. Безледниковое развитие севера Западносибирской низменности и фазы эпикриогенеза, синкриогенеза и посткриогенеза // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2023. Выпуск 10, с. 299–309. doi: 10.24412/2687-1092-2023-10-299-309

Sedov S., Sheinkman V., Bezrukova E. et al. Sartanian (MIS 2) ice wedge pseudomorphs with hydromorphic pedosediments in the north of West Siberia as an indicator for paleoenvironmental reconstruction and stratigraphic correlation // Quaternary International. 2022. Vol. 632. P. 192–205.

Sheinkman V. Quaternary glaciation in North-Western Siberia - New evidence and interpretation // Quaternary International. 2016. Vol. 420. P. 15–23. doi: 10.1016/j.quaint.2015.11.147

Sheinkman V., Sedov S., Shumilovskikh S. et al. First results from the Late Pleistocene paleosols in northern Western Siberia: implications for pedogenesis and landscape evolution at the end of MIS3 // Quaternary International. 2016. Vol. 418. P. 132–146. doi: 10.1016/j.quaint.2015.12.095

Sheinkman V., Sedov S., Shumilovskikh L. et al. A multiproxy record of sedimentation, pedogenesis, and environmental history in the north of West Siberia during the late Pleistocene based on the Belaya Gora section // Quaternary Research. 2021. Vol. 99. P. 204–222. doi: 10.1017/qua.2020.74

NEW DATA IN RESPECT TO COEVOLUTIONAL DEVELOPMENT OF NORTH-EASTERN SIBERIA DURING THE QUATERNARY

Sheinkman V.S.¹, Sedov S.N.¹, Rusakov A.V.²

¹Earth Cryosphere Institute, Tyumen science Center, SB RAS, Tyumen, Russia

²St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia,

The results of research conducted by the authors of this work in the subarctic zone of Western Siberia were obtained in order to identify the characteristics of the coevolutionary development of phenomena induced by cold. The focus of their study is determined by the need to create a comprehensive picture of the cryosphere for the region under consideration, which requires organizing knowledge about phenomena caused by cold within the framework of cryogenic geosystems that encompass these phenomena. However, today, amid the processing of an increasing amount of information during the identification of these phenomena, researchers sometimes try to operate only with the amount of information that allows them to interpret events and objects within familiar schemes and perspectives. As a result, the process of forming a cryogenic system of a private rank becomes accentuated, while the patterns of development of the main geosystem remain insufficiently revealed, and its perception becomes distorted. Nevertheless, it must be noted that traces of the development of Earth's cryology objects are often considered not from a coevolutionary perspective, but taken in isolation and interpreted as background, whereas in reality they may have specific significance. This particularly concerns objects that some authors consider to be traces of continental glaciers, ignoring the fact that, from the standpoint of Earth's cryology patterns, such glaciers could not have formed in Western Siberia in principle. All this leads to increased contradictions in the emerging scientific concepts and to the separation of scientific groups based solely on their adherence to certain models. Examples of how to avoid this, relying on the identification of features of the co-evolutionary development of cold-induced phenomena, are shown in this article.

Keywords: *coevolutionary development, cryosphere objects, phenomena caused cold, North-Western Siberia, cryogenic geosystems*

REFERENCES:

- Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Kuznetsov V.Yu., Chernov S.B., Laukhin S.A., Velichkevich F.Yu., San'ko A.F., Shilova G.N. The Bedoba reference section of the Kazantsevo horizon in central Siberia // *Doklady Earth Sciences*. 2004. Vol. 397. № 5. P. 604-607.
- Arkhipov S.A. Major geological events of the Late Pleistocene (Western Siberia) // *Geology and Geophysics*. 2000. Vol. 41, № 6. P. 792-799.
- Vasilchuk Yu.K. Repeatedly veined ice: heterocyclicity, heterochrony, heterogeneity. Moscow: Moscow University Press. 2006. 392 pp. (in Russian).
- Vdovin V.V., Provodnikov L.Ya. History of the formation of Mesozoic-Cenozoic deposits and the modern relief in the Vakh River basin. Novosibirsk. 1965. 95 pp. (in Russian).
- Zemtsov A.A. Geomorphology of the West Siberian Plain (northern and central part). Tomsk: Tomsk State University Press. 1976. 344 pp. (in Russian).
- Zinovyev E.V., Borodin A.V., Trofimova S.S., et al. Late Pleistocene entomocomplexes of the Belaya Gora section (Western Siberia, Vakh River) and their ecological characteristics // *Eurasian Entomological Journal*. 2016. Vol. 15, no. 5. P. 483-498. (in Russian).
- Laukhin S.A. Pleistocene paleoclimatic events in Western and Central Siberia during MIS-5 // *Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Geological Section*. 2017. Vol. 92, Issue 2. P. 49-57. (in Russian).
- Laukhin S.A., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Kuznetsov V.Yu., Chernov S.B., Tertychnaya T.V., Velichkevich F.Yu., Shilova G.N. Paleoclimates and chronology of the middle Würm megainterstadial on the West Siberian plain // *Doklady Earth Sciences*. 2006. Vol. 411. № 9. P. 1457-1461.
- Streletskaya I.D., Vasiliev A.A., Oblogov G.E., Tokarev I.V. Reconstruction of the paleoclimate of the Russian Arctic in the Late Neopleistocene-Holocene based on isotopic composition data of polygonally-veined ice // *Earth's Cryosphere*, 2015. Vol. XIX, No. 2. P. 98-106. (in Russian).
- Tronov M.V. Factors of glaciation and glacier development. Tomsk. Tomsk University Press. 1972. 235 pp. (in Russian).
- Sheinkman V.S., Melnikov V.P. Glaciers of Siberia as a component of cryolithogenic-glacial geosystems // *Earth's Cryosphere*. 2014. Vol. XVIII. No. 2. P. 3-23.

Sheinkman V.S., Melnikov V.P. Evolution of concepts of cold and possible directions of their development in Earth sciences // *Earth's Cryosphere*. 2019. Vol. XXIII. No. 5. P. 3–16.

Sheinkman V.S., Melnikov V.P., Parnachev V.P. Analysis of Pleistocene cryogenic and tectonic processes in northwestern Siberia: a cryoheterotopic approach // *Doklady Earth Sciences*. 2020. Vol. 494. № 1. P. 741–744. doi: 10.1134/S1028334X20090160

Sheinkman V.S., Plyusnin V.M. Glaciation of the North of Western Siberia: Controversial Issues and Ways to Solve Them // *Ice and Snow*. 2015. No. 1(128). P. 103–120. doi: 10.15356/2076-6734-2015-1-103-120

Sheinkman V.S., Sedov S.N. Glacial-free development of the West Siberian north of and phases of epicryogenesis, syncryogenesis and postcryogenesis // *Relief and Quaternary deposits of the Arctic, Subarctic and North-West Russia*. 2023. Issue 10. P. 299–309. doi: 10.24412/2687-1092-2023-10-299-309

Sedov S., Sheinkman V., Bezrukova E. et al. Sartanian (MIS 2) ice wedge pseudomorphs with hydromorphic pedosediments in the north of West Siberia as an indicator for paleoenvironmental reconstruction and stratigraphic correlation // *Quaternary International*. 2022. Vol. 632. P. 192–205.

Sheinkman V. Quaternary glaciation in North-Western Siberia - New evidence and interpretation // *Quaternary International*. 2016. Vol. 420. P. 15–23. doi: 10.1016/j.quaint.2015.11.147

Sheinkman V., Sedov S., Shumilovskikh S. et al. First results from the Late Pleistocene paleosols in northern Western Siberia: implications for pedogenesis and landscape evolution at the end of MIS3 // *Quaternary International*. 2016. Vol. 418. P. 132–146. doi: 10.1016/j.quaint.2015.12.095

Sheinkman V., Sedov S., Shumilovskikh L. et al. A multiproxy record of sedimentation, pedogenesis, and environmental history in the north of West Siberia during the late Pleistocene based on the Belaya Gora section // *Quaternary Research*. 2021. Vol. 99. P. 204–222. doi: 10.1017/qua.2020.74